

**This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

(a)

## OPTICAL SOLITON TRANSMITTING METHOD

Patent Number: JP4335619  
Publication date: 1992-11-24  
Inventor(s): KUBOTA HIROKAZU; others: 01  
Applicant(s): NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
Requested Patent: ☐ JP4335619  
Application Number: JP19910107616 19910513  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G02F1/35; H04B9/00  
EC Classification:  
Equivalents: JP2825109B2

### Abstract

**PURPOSE:** To increase the unrepeatable sendable distance of light soliton pulses, to increase the installation intervals of optical amplifiers and optical repeaters, to enable multi-repeating optical soliton transmission at a high information transmission speed, and to economically perform a long-distance, super high-speed, and large-capacity optical communication.

**CONSTITUTION:** When an optical fiber 2 has light loss as to the optical soliton transmitting means which uses the light soliton generated in a wavelength range of the negative group speed dispersion of the optical fiber, the frequency modulation of the light soliton pulses due to the light loss is compensated by using an optical dispersion compensator 3 for group speed dispersion having the opposite sign from the optical fiber 2. Further, the light soliton pulses may be amplified by an optical amplifiers after the frequency modulation is compensated by the optical dispersion compensator, and an optical repeater provided with an optical dispersion compensating means for group speed dispersion having the opposite sign from the optical fiber and an optical amplifying means may be used by  $\geq 1$  stage.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-335619

(43) 公開日 平成4年(1992)11月24日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35		7246-2K		
H 0 4 B 9/00		M 8426-5K		

審査請求 未請求 請求項の数3 (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平3-107616

(22) 出願日 平成3年(1991)5月13日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 久保田 寛和

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 中沢 正隆

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

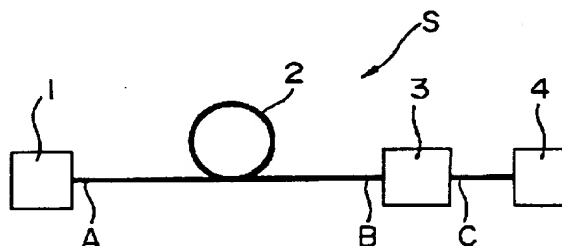
(74) 代理人 弁理士 志賀 正武

(54) 【発明の名称】 光ソリトン伝送方法

(57) 【要約】

【構成】 本願は、光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ファイバ2に光損失がある場合に、前記光ファイバ2と逆の符号の群速度分散の光分散補償器3を用いて、光損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することを特徴とする。また、光分散補償器により周波数変調を補償した後の光ソリトンパルスを光増幅器により増幅するとしてもよく、光ファイバと逆の符号の群速度分散の光分散補償手段と、光増幅手段とを具備する光中継器を1段以上用いてもよい。

【効果】 光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を延長することができる。また、光増幅器や光中継器の設置間隔を延長することができ、高情報伝送速度で多中継光ソリトン伝送をすることができる。したがって、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことが可能になる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器を用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することを特徴とする光ソリトン伝送方法。

【請求項2】 請求項1記載の光ソリトン伝送方法において、前記光分散補償器により周波数変調を補償した後の光ソリトンパルスを光増幅器を用いて増幅することを特徴とする光ソリトン伝送方法。

【請求項3】 単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償手段と、光増幅手段とを具備する光中継器を1段以上用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに該光ソリトンパルスを増幅することを特徴とする光ソリトン伝送方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ソリトンの伝送方法に係り、特に光ソリトン伝送路中の光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することにより、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 大容量の光通信を行なう場合には、通信に用いる光パルスのパルス幅を狭くして伝送容量をアップする必要があるが、通常のシリカ（石英）系単一モード光ファイバは、1.32 $\mu$ mの波長帯域付近に零分散領域が存在する群速度分散特性と光損失波長特性を有するために、線形的な光パルスを用いると光ファイバ中に存在する群速度分散の効果により前記光パルスのパルス幅が広がり、その広がりの度合いはパルス幅が狭いほど顕著となる。現状の技術では、伝送容量をこれ以上アップすることが難しく光通信の大容量化には限界がある。

【0003】 光パルスの伝送容量をアップするには、群速度分散の効果による波形の広がりや高次分散による波形ひずみを克服しなければならないが、HasegawaとTappertは、1973年に光ファイバ中での群速度分散と自己位相変調効果とを釣り合わせることで光ソリトン伝送が可能になることを理論的に示した（参考文献1：A. Hasegawa and F. Tappert, Appl. Phys. Lett. 23(1973) 142.）。

【0004】 光ファイバの異常分散波長域において形成される光ソリトンは、群速度分散による広がりや非線形光学効果（光カー効果）による圧縮が釣り合うことによ

り、光ファイバによる伝送損失（光損失）がない場合には、この光ファイバ中を波形を変えずに伝搬するという特徴がある。このため、光ソリトンを用いた伝送方法は、長距離、大容量の光通信を実現するうえで非常に有望視されている方法である。

【0005】 しかしながら、実用化されている光ファイバには、わずかな光損失（波長1.55 $\mu$ m帯で0.22dB/km、1km先で約5%光が弱まる）が存在するために、光ソリトンといえども光パルスの振幅が減少し、それにつれてパルス幅の広がりを生じ、波形が変化することとなる。

【0006】 従来、この光損失による光ソリトンの波形の変化を補償するために、誘導ラマン散乱を用いて光伝送路中に分布定数的に増幅作用を持たせ、等価的に無損失の光伝送路を作り、光ソリトンを伝搬させる方法が既に提案されている（参考文献2：A. Hasegawa, Appl. Opt. 23, p. 3302 (1984). 参考文献3：L. F. Mollenauer, J. P. Gordon, and M. N. Islam, IEEE J. Quantum Electron. QE22, p. 157 (1986).）。

【0007】 この方法は、理想的な光ソリトン伝送路を提供することができるため、特に長距離の伝搬に適している光伝送方法である。

【0008】 また、光伝送路には増幅作用を持たせず、この光伝送路中に、ある間隔をおいて光増幅器を挿入し、集中定数的に光ファイバの損失を補償する方法により長距離にわたって光ソリトンを伝搬させる方法が提案されている（参考文献4：久保田、中沢、鈴木、特願平1-68619号公報、参考文献5：H. Kubota and M. Nakazawa, IEEE J. Quantum Electron. QE26, p. 692 (1990).）。

【0009】 この方法は、増幅作用を持つ領域を局在化でき、また構成が簡単であるために、実現性が極めて高い光伝送方法である。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】 とところで、上記の誘導ラマン散乱を用いる光ソリトン伝送方法は、理想的な光ソリトン伝送路を提供することができるため長距離の光ソリトンパルスの伝搬に適しているものの、システム全体の構成が複雑になることと、さらに、光伝送路全体にわたって一様な増幅利得を持たせることが困難であることから、任意の場所において無損失の光ソリトン伝送路を得ることができないという欠点があった。また、誘導ラマン散乱の利得が比較的小さいことも欠点となる。

【0011】 また、光増幅器を用いる光ソリトン伝送方法は、増幅作用を持つ領域を局在化でき、システム全体の構成が簡単になるために実現性が極めて高いものの、高強度の光ソリトンの非線形パルスとしての波形の変化を積極的に利用しているために光ファイバの光損失により光ソリトンパルスの強度が減少することから、光伝送路の中継距離に制限があり、該光伝送路中の光増幅器の

間隔を50 km程度までしか採ることが出来ず、光増幅器の設置間隔をさらに延長することが極めて困難であった。

【0012】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、従来では光ソリトンパルス強度の低下を補償する点にのみ着目していたものを、周波数変調（位相変化）を補償する点にも着目し、単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器を用いて光ソリトン伝送路中の光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することにより、光ソリトンの伝送距離もしくは光ソリトン伝送における光中継増幅器の設置間隔を延長し、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明は次の様な光ソリトン伝送方法を採用した。

【0014】すなわち、本発明の請求項1記載の光ソリトン伝送方法としては、単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器を用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することに特徴がある。

【0015】また、請求項2記載の光ソリトン伝送方法としては、請求項1記載の光ソリトン伝送方法において、前記光分散補償器により周波数変調を補償した後の光ソリトンパルスを増幅器を用いて増幅し、該光ソリトンパルスの受光感度を改善することに特徴がある。

【0016】また、請求項3記載の光ソリトン伝送方法としては、単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償手段と、増幅手段とを具備する光中継器を1段以上用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに該光ソリトンパルスを増幅し、該光ソリトンパルスの強度を回復させることに特徴がある。

【0017】

【作用】本発明の請求項1記載の光ソリトン伝送方法では、伝搬の初めの部分では光ソリトンの効果を利用し、さらに、伝送用光ファイバの光伝送損失により光ソリトンパルスの強度が減少した後は線形的なパルスとして伝搬させる。そして、光ソリトン伝送中にその線形的な部分で生じた群速度分散による光ソリトンパルスの周波数変調及びパルス幅の広がりを、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器を用いて補償することにより、伝搬中の光ソリトンパルスのパ

ルス幅の広がりを許容して該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離（光信号を電気信号に戻すことなく伝送できる距離）を延長し、光ソリトン伝送における光中継増幅器の設置間隔を延長する。

【0018】また、請求項2記載の光ソリトン伝送方法では、請求項1記載の光ソリトン伝送方法において、前記光分散補償器により周波数変調を補償した後の光ソリトンパルスを増幅器を用いて増幅することにより、該光ソリトンパルスの受光感度を改善し、該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を更に延長し、光ソリトン伝送における光中継増幅器の設置間隔を延長する。

【0019】また、請求項3記載の光ソリトン伝送方法では、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償手段と、増幅手段とを具備する光中継器を1段以上用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに該光ソリトンパルスを増幅することにより、該光ソリトンパルスの強度を回復させ、該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を更に延長し、長距離の多中継光ソリトン伝送を可能にする。

【0020】

【実施例】以下、本発明の各実施態様について図を参照して説明する。

【0021】図1は、本発明の請求項1記載の光ソリトン伝送方法の一実施例である光ソリトン伝送システムSの構成を示す概略図であり、図2(a)～(c)は、図1中の光伝送路のA～Cの各部分における光ソリトンパルスの波形の概略を示す図である。

【0022】図1において、1は光ソリトン発生器、2は光ソリトン伝送用光ファイバ（光ファイバ）、3は光分散補償器、4は受光器である。

【0023】光ソリトン発生器1は、1.55  $\mu\text{m}$ の波長帯域の光ソリトンパルスを発生させるもので、例えば、モード同期Fセンタレーザと偏波保持単一モードファイバとから構成されるソリトンレーザが好適に用いられる。

【0024】光ファイバ2は、例えば、1.32  $\mu\text{m}$ の波長帯域付近に零分散領域が存在する群速度分散特性と光損失波長特性を有するシリカ系単一モード光ファイバである。

【0025】光分散補償器3は、前記光ファイバ2と逆の符号の群速度分散を有し、光ソリトン伝送中にその線形的な部分で生じた群速度分散による光ソリトンパルスの周波数変調及びパルス幅の広がりを補償するものである。

【0026】この光分散補償器3としては、例えば、使用される光ソリトンパルスの波長帯域が1.5  $\mu\text{m}$ の場合では零分散波長を1.5  $\mu\text{m}$ よりも長波長側にずらしたシリカ系の分散シフトファイバ（正の群速度分散を有する）、GT干渉計、ファブリ・ペロー共振器、また

は、ニオブ酸リチウム ( $\text{LiNbO}_3$ ) やルチル型二酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ; 別名「チタニア」)、二酸化テルル ( $\text{TeO}_2$ ) 等の結晶、あるいはそれらを用いた光ファイバや光導波路等が好適に用いられる。

【0027】受光器4は、光分散補償器3により補償された光ソリトンパルスを受光しこれを電気信号に変換するもので、例えば、アバランシェホトダイオード (APD) 等が好適に用いられる。

【0028】次に、この光ソリトン伝送システムSの動作について説明する。

【0029】まず、電気信号を光ソリトン発生器1により光ソリトンパルスに変換し、該光ソリトンパルスを光ファイバ2中に入射し該光ファイバ2中を伝搬させる。

【0030】光ソリトンパルスは、光ファイバ2に入射した当初は高強度かつ狭小な波形を示している (図2 (a)) が、該光ファイバ2中を伝搬する間に該光ファイバ2の光損失により強度が減少しかつ非線形性が弱まり、また、光ファイバ2の有する負の群速度分散によりパルス幅が広がるとともに、周波数変調 (チャープ) を有するようになる (図2 (b))。

【0031】この状態では、隣接する光ソリトンパルス同士が互いに重なり合うようになるために、個々の信号を検出することが不可能になる。

【0032】これらの変形した光ソリトンパルスは、光分散補償器3を通過することによりパルス幅が回復され周波数変調も補償される (図2 (c))。この光ソリトンパルスは、強度こそ低下 (本例では  $1/100$  以下) しているものの、波形は入射当初と同一 (相似形) である。これより、互いに重なり合っていた光ソリトンパルスは明瞭に分離され、再び信号を検出することが可能になる。

【0033】パルス幅が回復した光ソリトンパルスは、受光器4により再び電気信号に変換され、信号として取り出される。

【0034】図3は、上記実施例の光ソリトン伝送システムSにおける光ソリトンパルスの分散補償の効果を確かめるために、計算機を用いてシミュレーション解析を行った結果の一例を示すものである。

【0035】この図では、光分散補償器の分散補償量 ( $\text{ps/nm}$ ) をパラメータとした場合の光ソリトンパルスの波形の変化の様子を示している。

【0036】ここでは、光ソリトンパルスの半値幅  $\tau_{FWHM}$  を  $10 \text{ ps}$ 、波長を  $1.55 \mu\text{m}$ 、光ファイバの長さを  $100 \text{ km}$ 、光伝送損失を  $0.24 \text{ dB/km}$ 、群速度分散を  $-2.0 \text{ ps/km/nm}$  と仮定した。

【0037】また、図中の破線は、参考のために、入力する無歪の光ソリトンパルスの波形を示したものである。上述したとおり伝搬の前後でパルス強度が  $100$  倍以上異なるために縮小して示してある。

【0038】この結果から、分散補償しない光パルス

(分散補償量が  $0 \text{ ps/nm}$  の場合) ではパルス幅が広がり波高も低くなっているが、分散補償量を増大させるにしたがってパルス幅が狭小になり、分散補償量が  $160 \text{ ps/nm}$  では入力光ソリトンパルスとほぼ同一形状の波形にまで回復していることがわかる。また、分散補償量を  $180 \text{ ps/nm}$  以上とした場合では逆に波形が崩れてしまっており、分散補償量がある値を越えると分散補償ができなくなることがわかる。

【0039】図4は、本発明の効果を確かめるために行った計算機によるシミュレーション解析の結果の他の一例を示すものであって、光ソリトンパルスのパルス幅と分散補償量との関係を示す図である。

【0040】図中、横軸は分散補償量 ( $\text{ps/nm}$ )、縦軸はパルス幅 ( $\text{ps}$ ) である。

【0041】ここでは、光ソリトンパルスの半値幅  $\tau_{FWHM}$  を  $10 \text{ ps}$ 、波長を  $1.55 \mu\text{m}$ 、光ファイバの光伝送損失を  $0.24 \text{ dB/km}$ 、群速度分散を  $-2.0 \text{ ps/km/nm}$  とし、光ファイバの長さ ( $Z$ ) については、 $60, 80, 100 \text{ km}$  の3種類の場合を仮定した。

【0042】この結果から、光ファイバの長さ (伝送距離) が異なる場合でも、分散補償量を調整することによりパルス幅が変化した光ソリトンパルスを入力光ソリトンパルスとほぼ同一のパルス幅にまで回復できることがわかる。

【0043】図5は、光ソリトンパルス対を光ファイバ中に入射し伝搬させた場合の本発明の効果確認のためのシミュレーション解析の結果を示す図であって、図2に相当するものである。

【0044】ここでは、光ソリトンパルス対のパルス間隔を  $50 \text{ ps}$  とし、各パルスの半値幅  $\tau_{FWHM}$  を  $10 \text{ ps}$ 、波長を  $1.55 \mu\text{m}$ 、光ファイバの長さを  $100 \text{ km}$ 、光伝送損失を  $0.24 \text{ dB/km}$ 、群速度分散を  $-2.0 \text{ ps/km/nm}$  と仮定した。

【0045】この結果から、分散補償しない場合では、光パルス同士が互いに重なり合い個々の信号を検出することが不可能であるが、分散補償量が  $160 \text{ ps/nm}$  では光ソリトンパルス対がきれいに分離されて個々の信号を明瞭に識別することが可能となる。また、分散補償量を  $180 \text{ ps/nm}$  以上に増加させると波形が崩れてしまい分散補償ができなくなることがわかる。

【0046】以上説明したように、この実施例の光ソリトン伝送システムSによれば、光ファイバ2と逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器3を用いて、光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することとしたので、光ソリトンパルスが伝送中にその線形的な部分で生じた群速度分散による光ソリトンパルスの周波数変調及びパルス幅の広がりを補償し、伝搬中の光ソリトンパルスのパルス幅の広がりを許容して該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を延長することができ

る。したがって、光ファイバーの長さは100 km以上とすることが可能になる。

【0047】また、この光ソリトン伝送システムSでは、光ソリトンパルスは線形なパルスと比べて高強度であるために伝搬後の信号対雑音比(S/N比)が優れており、また、同じS/N比をとればより長距離にわたって伝搬させることができる。さらに、部分的にでもソリトンの効果を保持している間は、波形の変化・周波数変調(チャーピング)の発生量ともに線形なパルスに比べて少ないため(理想的な光ソリトンでは波形は変化せず、また、周波数変調の発生もない)、同じ距離伝搬した後において必要となる光分散補償量は線形なパルスを用いる伝搬に比べて少なくてよい。

【0048】また、この光ソリトン伝送システムSと集中定数的な光増幅器とを組み合わせることもでき、この組合せを用いた多中継光ソリトン伝送においては、光増幅器の設置間隔を延長することができ、かつ、本方法を用いない場合に比べて無中継伝送できる距離を延長することが可能となる。この場合、光増幅器としては、半導体レーザ増幅器、エルビウム(Er)ドープ光ファイバ増幅器等が好適である。

【0049】この様に、光ソリトンの伝送距離を延長することができ、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することが可能になる。

【0050】図6は、本発明の請求項3記載の光ソリトン伝送方法の一実施例である多中継光ソリトン伝送システムMの構成を示す概略図である。

【0051】この多中継光ソリトン伝送システムMは、光ファイバ2の後に光中継器5を接続し、この光中継器5を用いて、光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに光強度を増幅するという一連の動作を複数段(N<sub>1</sub>段からN<sub>n</sub>段まで)繰り返すこととしたものである。

【0052】この多中継光ソリトン伝送システムMにおいては、光ソリトン発生器1、光ファイバ2、受光器4は前記光ソリトン伝送システムSの構成要素と全く同一であるからこれらの構成要素については説明を省略することとし、前記構成要素と異なる光中継器5についてのみ説明する。

【0053】光中継器5は、光分散補償手段6と、光増幅手段7とを具備するものである。

【0054】光分散補償手段6は、前記光ファイバ2と逆の符号の群速度分散を有し、光ソリトン伝送中にその線形的な部分で生じた群速度分散による光ソリトンパルスの周波数変調及びパルス幅の広がりを補償するものである。

【0055】この光分散補償手段6としては、前記実施例の光分散補償器3と同様に、例えば、使用される光ソリトンパルスの波長帯域が1.5 μmの場合では零分散

波長を1.5 μmよりも長波長側にずらしたシリカ系の分散シフトファイバ(正の群速度分散を有する)、GT干渉計、ファブリ・ペロー共振器、または、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)やルチル型二酸化チタン(TiO<sub>2</sub>; 別名「チタニア」)、二酸化テルル(TeO<sub>2</sub>)等の結晶、あるいはそれらを用いた光ファイバや光導波路等が好適に用いられる。

【0056】光増幅手段7は、光ファイバ2の光伝送損失により強度が減少した光ソリトンパルスの光強度を増幅するもので、例えば、1.5 μmの波長帯域のパルスでは、半導体レーザ増幅器、エルビウム(Er)ドープ光ファイバ増幅器等が好適に用いられる。

【0057】前記光増幅手段7は、高度の機能が要求されない場合には光増幅器の種類を限定する必要はないが、特に、限界を追及する様な場合においては、受光感度を改善するために受光器4の前に設ける光増幅器としては、プリアンプ型のものが好ましく、また、大きな光ソリトンパルスを得るために光ファイバ2の前に設ける光増幅器としては、メインアンプ型のものが好ましい。

【0058】次に、この多中継光ソリトン伝送システムMの動作について説明する。

【0059】光ソリトン発生器1により初段(N<sub>1</sub>)の光ファイバ2中に入射された光ソリトンパルスは、光中継器5の光分散補償手段5によりパルス幅が回復され周波数変調も補償され、光増幅手段6により光強度が増幅され、光ファイバ2の光損失により減少した光ソリトンパルスの強度を回復する。

【0060】強度を回復した光ソリトンパルスは、その後、2段目(N<sub>2</sub>)の光ファイバ2に入射し、前記と同様に光中継器5の光分散補償手段5によりパルス幅が回復され周波数変調も補償され、光増幅手段6により光強度が増幅され、減少した光ソリトンパルスの強度を回復する。

【0061】以下、各段の光中継器5により光分散補償と光増幅が繰り返行われ、最終段(N<sub>n</sub>)の光ファイバ2に入射した後は、前記と同様にパルス幅が回復されて周波数変調も補償され、また光強度も回復され、受光器4により再び電気信号に変換され、信号として取り出される。

【0062】図7は、上記実施例の多中継光ソリトン伝送システムMにおける光ソリトンパルスの光分散補償及び光増幅の効果を確認するために、計算機を用いてシミュレーション解析を行った結果の一例を示すものである。

【0063】図7では、入力に光ソリトンパルス対を用い、図6の各段の光中継器5の出力側におけるパルスの波形の変化の様子を示している。

【0064】ここでは、各光ソリトンパルスの半値幅 $\tau_{FWHM}$ を10 ps、波長を1.55 μm、パルス間隔を50 ps、また、各光ファイバの長さを100 km、各々

の光伝送損失を0.24 dB/km、群速度分散を $-2.0 \text{ ps/km/nm}$ 、分散補償量を $160 \text{ ps/nm}$ と仮定した。この分散補償量は図3の最適値と同一である。

【0065】また、図8は、比較のために図7と同一条件の光ソリトンパルス対を用い、従来の方法により多中継伝送したパルスの波形を図7と同様の方法により示したものである。ただし、各光ファイバの長さは25 kmである。

【0066】この結果から、従来の方法では伝送距離が短く波形も著しく省化しているのに対して、本実施例の方法では、光ソリトンパルス対がきれいに分離されて個々の信号を明瞭に識別することが可能となり、全体として2000 km以上にわたって高情報伝送速度（高ビットレート）できれいな光ソリトンパルス対を伝搬させることが可能であることがわかる。

【0067】また、各々の光ファイバの距離（光増幅器の設置間隔）は、本方法を用いることにより2倍以上となり（本例では4倍）、少ない光増幅器数で長距離の伝送が可能な経済的な光ソリトン通信が可能である。

【0068】以上説明したように、この実施例の多中継光ソリトン伝送システムMによれば、光ファイバ2と逆の符号の群速度分散を有する光分散補償手段6と、光増幅手段7とを具備する光中継器5を複数段用いて、光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに該光ソリトンパルスを増幅し、減少した光ソリトンパルスの強度を回復することとしたので、この光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を更に延長することができ、光ソリトン伝送における光中継器5の設置間隔を延長することができ、したがって、2000 km以上

にわたって高情報伝送速度（高ビットレート）で多中継光ソリトン伝送をすることが可能になる。

【0069】この様に、光ソリトン伝送における光増幅器の設置間隔を延長することができ、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することが可能になる。

【0070】なお、多中継光ソリトン伝送システムMにおいては、光分散補償器を挿入する位置は（1）光ファイバの出力端、（2）光増幅器の出力端のいずれでもよく、いずれにおいても全く同一の効果を示すことができる。

【0071】また、光分散補償器は独立した機器である必要はなく、例えば、光増幅器に分散特性を持たせ光分散補償器を兼ねる構成としてもよい。

【0072】なお、上記実施例のすべての場合においては、入力する光ソリトンパルスの振幅を通常の場合1.5倍程度にとり、伝送距離を延長する前記参考文献4、5の方法を併用している。

【0073】また、光ソリトン発生器もしくは光中継器からの出力光ソリトンパルスの強度を振幅 $A=1$ とする

ことも振幅 $A>1$ とすること（上記文献4、5）も可能であり、振幅 $A>1$ の場合にはさらなる中継距離の延長効果が期待できる。

【0074】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明の請求項1記載の光ソリトン伝送方法によれば、単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償器を用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償することとしたので、この光ソリトンパルスが伝送中にその線形的な部分で生じた群速度分散による光ソリトンパルスの周波数変調及びパルス幅の広がりを補償し、伝搬中の光ソリトンパルスのパルス幅の広がりを許容して該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を延長することができる。

【0075】したがって、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することが可能になる。

【0076】また、請求項2記載の光ソリトン伝送方法によれば、請求項1記載の光ソリトン伝送方法において、前記光分散補償器により周波数変調を補償した後の光ソリトンパルスを光増幅器を用いて増幅することとしたので、前記光ソリトンパルスの受光感度を改善することができ、該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を更に延長することができる。

【0077】したがって、光ソリトン伝送における光増幅器の設置間隔を延長することができ、長距離、超高速大容量光通信を経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することが可能になる。

【0078】また、請求項3記載の光ソリトン伝送方法によれば、単一モード光ファイバの負の群速度分散の波長領域で形成される光ソリトンを用いる光ソリトン伝送方法において、光ソリトン伝送用光ファイバに光伝送損失がある場合に、前記単一モード光ファイバと逆の符号の群速度分散を有する光分散補償手段と、光増幅手段とを具備する光中継器を1段以上用いて、前記光伝送損失による光ソリトンパルスの周波数変調を補償するとともに該光ソリトンパルスを増幅し、該光ソリトンパルスの強度を回復させることとしたので、該光ソリトンパルスの強度を回復させることができ、該光ソリトンパルスの無中継伝送可能な距離を更に延長することができ、高情報伝送速度（高ビットレート）で多中継光ソリトン伝送をすることが可能になる。

【0079】したがって、光ソリトン伝送における光中継器の設置間隔を延長することができ、長距離、超高速大容量光通信を多中継で経済的に行うことができる光ソリトン伝送方法を提供することが可能になる。

【図面の簡単な説明】



11

【図1】本発明の請求項1記載の光ソリトン伝送方法の一実施例の光ソリトン伝送システムSの構成を示す概略図である。

【図2】図1中の光伝送路のA～Cの各部分における光ソリトンパルス波形の概略を示す図である。

【図3】本発明の一実施例の光ソリトン伝送システムSの分散補償量と光ソリトンパルス波形との関係を示す図である。

【図4】本発明の一実施例の光ソリトン伝送システムSの光ソリトンパルスのパルス幅と分散補償量との関係を示す図である。

【図5】本発明の一実施例の光ソリトン伝送システムSの分散補償量と光ソリトンパルス対の波形との関係を示す図である。

【図6】本発明の請求項3記載の光ソリトン伝送方法の一実施例の多中継光ソリトン伝送システムMの構成を示す概略図である。

12

【図7】本発明の一実施例の多中継光ソリトン伝送システムMの各段の光増幅器の出力側におけるパルスの波形の変化の様子を示す図である。

【図8】従来の多中継光ソリトン伝送システムの各段の光増幅器の出力側におけるパルスの波形の変化の様子を示す図である。

【符号の説明】

S 光ソリトン伝送システム

1 光ソリトン発生器

2 光ソリトン伝送用光ファイバ (光ファイバ)

3 光分散補償器

4 受光器

M 多中継光ソリトン伝送システム

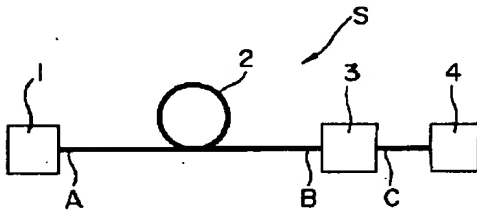
5 光中継器

6 光分散補償手段

7 光増幅手段

N<sub>1</sub>～N<sub>n</sub> 段

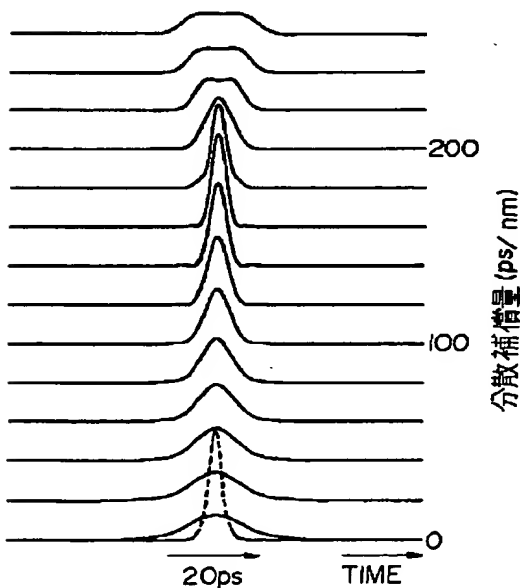
【図1】



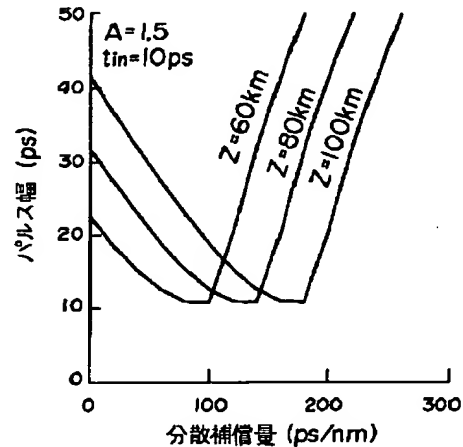
【図2】



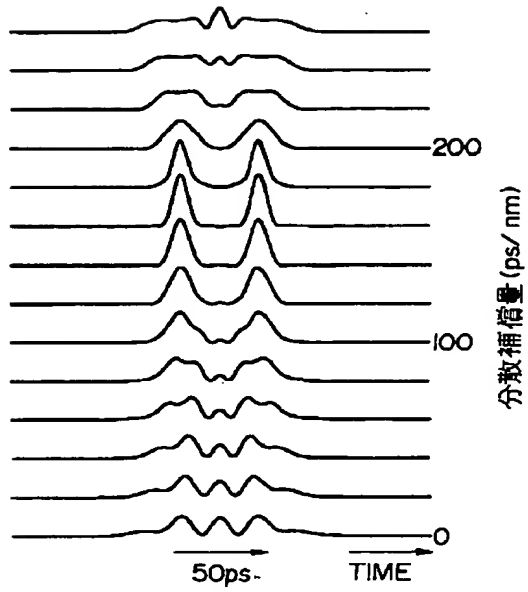
【図3】



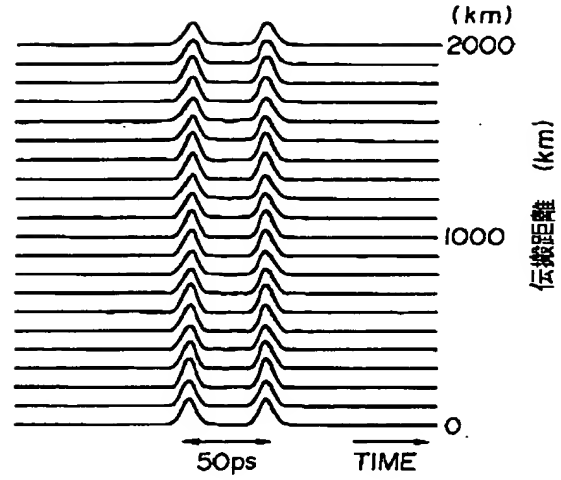
【図4】



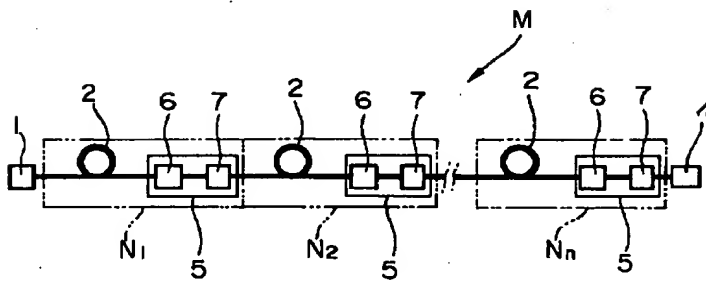
【図5】



【図7】



【図6】



【図8】

